

УДК 630\* 634.231.232

**В.А. Усольцев<sup>1,2</sup>, А.А. Маленко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

<sup>2</sup>Ботанический сад Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург

<sup>3</sup> Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул

## **ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ РАЗНОЙ НАЧАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ. СООБЩЕНИЕ 2. АНАЛИЗ ОПЫТНЫХ ПОСАДОК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

Основной недостаток попыток оптимизировать текущую густоту при неизвестной начальной состоит в том, что даже при условии однородности лесорастительных условий одна и та же текущая густота в статике древостоев отражает разную историю их формирования, и одной и той же текущей густоте соответствует несколько уровней продуктивности (Усольцев, 1994; Бузыкин и др., 2002; Собачкин и др., 2009). Показано (Усольцев, 2003), что в подобранном статическом ряду сосняков одного возраста с разной текущей густотой зависимость запаса от текущей густоты имеет веерообразный характер, т.е. описываются расходящимся пучком кривых в диапазоне от асимптотического до колоколообразного трендов, ширина которого определяется диапазоном начальных густот в названном ряду. В подобных случаях значение оптимальной густоты может быть случайной величиной (Усольцев, 1994; Бузыкин и др., 2002; Собачкин и др., 2009). Оптимизацию густоты культур без учета густоты посадки и всей истории их роста Н.П. Георгиевский (1957) считает методической ошибкой, когда «сравнивают несравнимое» (с. 42). Поэтому необходимы данные перечетов на постоянных пробных площадях в древостоях с известной начальной густотой в некотором ее диапазоне, но без какого-либо хозяйственного вмешательства, т.е. «чистые» густотные эксперименты. Анализ результатов подобных опытных посадок будет способствовать не только оптимизации технологических схем создания культур в разных природных зонах, но и решению некоторых теоретических вопросов фитоценологии (Пименов, Ефремов, 2009).

### **Обзор «чистых» густотных экспериментов**

Культуры разной начальной густоты закладывались лесоведами с разными целями: увеличение комплексной продуктивности с учетом основных компонентов биогеоценоза, получение максимального запаса древесины нужного качества в минимальные сроки или максимальной общей производительности с учетом древесины от рубок ухода, повышение устойчивости и средообразующих функций насаждений, оптимизация ландшафтного дизайна и т.п. (Демаков и др., 2002). Одновременное выполнение лесом всех целевых функций невозможно, но при наличии периодических перечетов на стационарных объектах независимо от их назначения можно рассмотреть некоторые оптимизационные аспекты начальной густоты культур с точки зрения их продуктивности и устойчивости. С этой целью нами составлена сводка густотных экспериментов с сосной, заложенных за последнее столетие.

Количество «чистых» густотных экспериментов, выполненных на территории бывшего СССР, к сожалению, исчисляется буквально единицами. В частности, для сосны обыкновенной:

- (1) в Лесной опытной даче ТСХА под Москвой заложены два опыта М.К. Турским в 1879 г. и Н.С. Нестеровым в 1901 г.,
- (2) в Букултском лесничестве Латвийской ССР заложен в 1935 г.,
- (3) на стационаре ЛитНИИЛХ Литовской ССР заложен около 1915 г.,
- (4) в Боярской лесной опытной станции УкрСХА заложен в 1940 г.,
- (5) в Куярском лесхозе республики Марий Эл заложен в 1977 г.,

(6) в Учебно-опытном лесхозе Воронежского лесотехнического института, на юге Усманского бора заложен В.И. Рубцовым в 1953 г.,

(7) в Боровом опытном лесничестве Бузулукского бора заложен А.П.Тольским в 1914 г.,

(8) в Лебяжинском лесхозе (пос. Акку) Павлодарской области, Казахстан заложен В.Е. Смирновым в 1935 г.,

(9) в Ключевском лесхозе Алтайского края на границе с Казахстаном заложен посадкой «местами» Л.Н. Грибановым в 1948 г.,

(10) в Большемуртинском лесхозе Красноярского края заложен А.И. Бузыкиным в 1982 г.

К сожалению, количественному анализу сегодня можно подвергнуть лишь некоторые из них. Эксперимент ТСХА длился около 100 лет и прекратился вследствие недостаточно большой площади вариантов (ныне в каждом осталось по 2-4 дерева), а латвийский эксперимент был заложен с нарушением чистоты опыта (вплотную к стене спелого сосняка) и прекратился также вследствие недостаточно больших площадей по вариантам. По этой же причине закончился, едва начавшись, эксперимент в Буландинском лесхозе Кокчетавской области КазССР, заложенный С.С. Голубинским в 1939 г. (6 вариантов густоты посева в пределах от 3 до 20 и более сеянцев на площадке), где был проведен лишь один обмер высот и диаметров спустя 4 года после посева (Сидоров, 1970).

Эксперимент в степной зоне, в Базарно-Карабулакском лесхозе Саратовской области, заложенный Н.Т. Смирновым в 1949 г., имел 4 варианта густоты с посадкой 20, 50, 100 и 200 растений в площадки размером  $2 \times 1$  м с густотой 4, 10, 20 и 40 тыс. экз./га (Смирнов, 1959). В возрасте 7 лет были проведены замеры густоты, высот и диаметров деревьев, и хотя эксперимент имел хорошие предпосылки на перспективу (общая площадь участка 7 га), его дальнейшая судьба неизвестна.

В Уральском эксперименте, заложенном посадкой «местами» О.М. Колпиковым (1960) в 1949 г. в Учебно-опытном лесхозе Уральского лесотехнического института под Свердловском было 4 варианта густоты (5, 10, 25 и 50 экз. на  $1 \text{ м}^2$ ), где в течение первых 10 лет обмерялись высоты деревьев. Посадка выполнена в площадки размером  $1 \text{ м}^2$  с размещением площадок по схеме  $2 \times 2$  м. Эксперимент прекращен после того, как все варианты были прорежены лесничим, которому объекты были переданы на хранение.

Имеющиеся в литературе данные по некоторым густотным экспериментам сведены в **табл. 1**. В нее не вошли материалы по последним трем упомянутым опытам, поскольку в них отсутствуют определения запаса насаждений. Культуры заложены в разных природных зонах и находятся в пределах ареала сосны обыкновенной на довольно узкой полосе между  $50^0$  и  $57^0$  с.ш., вытянутой с запада на восток между  $24^0$  и  $93^0$  в.д.

Данные **табл. 1** при всей их несопоставимости позволяют заключить, что в течение первых 15-29 лет после посадки, т.е. до смыкания крон и корней и соответственно до наступления внутривидовой конкуренции, запас насаждения одного и того же возраста (в статике) пропорционален густоте посадки, что подтверждается многочисленными исследованиями (Ando, 1962; Рубцов и др., 1976; Hozumi, 1977; Савич и др., 1978; Усольцев, 2003; Kuzmichev et al., 2005). В наиболее густых посадках смыкание наступает раньше. С возраста 17-39 лет зависимость запаса насаждений от начальной густоты из прямо пропорциональной постепенно переходит в колоколообразную или в обратную пропорциональную.

Для оптимизации густоты посадки наибольший интерес представляет перегруппировка густотных вариантов по запасу древесины, и здесь пока трудно выявить какую-либо общую закономерность. На пробной площади «Я» в интервале возраста от 15

Таблица 1

Характеристика культур сосны разной густоты посадки (густотные эксперименты)

№ варианта	Густота посадки, тыс. экз./га	Год закладки опыта	Завершение этапа «порционного» роста		Начало перегрушировки вариантов по запасу		Последний учет		Источник
			Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup> /га	Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup> /га	Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup> /га	
Лесная опытная дача ТСХА. 56°20' с.ш., 36°20' в.д. Пробная площадь «Я» (хвойно-широколиственные леса)									
1	2,196	1879	15	47,2	15	47,2	80	293,9	Итоги..., 1964
2	4,932			79,1		79,1		208,1	
3	8,784			77,1		77,1		173,1	
Лесная опытная дача ТСХА. 56°20' с.ш., 36°20' в.д. Пробная площадь «И» (хвойно-широколиственные леса)									
1	2,233	1901	29	151,9	39	214,2	60	78,6	Итоги..., 1964
2	2,540			154,6		169,6		80,7	
3	4,393			171,8		166,9		135,9	
4	5,986			218,0		209,8		131,4	
5	8,787			188,4		217,5		123,8	
6	10,159			209,0		198,4		124,9	
7	19,770			222,1		223,0		169,6	
8	22,830			220,3		183,2		87,8	
Букултское лесничество Латвийской ССР. 56°40' с.ш., 24°00' в.д. (хвойно-широколиственные леса)									
1	4,4	1935	18	48,2	18	48,2	18	48,2	Овсянкин, Савич, 1956
2	10,0			83,6		83,6		83,6	
3	40,0			80,6		80,6		80,6	
Станция ЛитНИИЛХ Литовской ССР. 55°00' с.ш., 24°00' в.д. (хвойно-широколиственные леса)									
1	5,0	1915	Не установлен	-	Не установлен	-	70	359	Юодвалькис, Озолинчюс, 1987
2	10,0			-		-		345	
3	15,0			-		-		312	
4	20,0			-		-		290	

Продолжение таблицы 1

№ варианта	Густота посадки, тыс. экз./га	Год закладки опыта	Завершение этапа «порционного» роста		Начало перегруппировки вариантов по запасу		Последний учет		Источник
			Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup> /га	Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup> /га	Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup> /га	
Боярская лесная опытная станция УкрСХА. 50°00' с.ш., 30°00' в.д. (широколиственные леса)									
1	2,5			46,0		86,0		555,0**	
2	5,0			67,0		116,0		529,0**	
3	7,5			77,0		136,0		532,0**	
4	11,5	1940	13	81,0	17	138,0	50	452,0**	Савич и др., 1978
5	17,5			91,0		142,0		-	
6	24,5			103,0		152,0		501,0**	
7	30,0			100,0		144,0		403,0**	
Куйарский лесхоз республики Марий Эл. 56°35' с.ш., 48°00' в.д. (широколиственные леса)									
1	0,5			-		-		13,3	
2	1,0	1977	Не установлен	-	Не достигнут	-	20	34,8	Демаков и др., 2002
3	2,9			-		-		37,3	
4	4,9			-		-		46,6	
5	11,0			-		-		95,8	
Учебно-опытный лесхоз Воронежского лесотехнического института, Усманский бор. 51°40' с.ш., 39°10' в.д. (лесостепь)									
1	5,0			76,8		105,3		144,2	
2	10,0			88,4		120,6		155,8	Рубцов и др., 1976
3	15,0			90,6		124,7		155,7	
4	20,0	1953	15	92,0	18	126,6	21	152,9	
5	30,0			107,7		139,0		168,7	
6	40,0			121,7		120,8		131,2	
Бузулукский бор, Боровое опытное лесничество. 52°40' с.ш., 52°10' в.д. (степь)									
1	4,9			-		-		89,4	
2	8,8	1913-1914	Не установлен	-	Не установлен	-	33	144,7	Чардымов, 1949
3	13,2			-		-		179,1	
4	19,8			-		-		167,0	
5	26,3			-		-		170,0	
6	39,5			-		-		135,0	



Продолжение таблицы 1

№ варианта	Густота посадки, тыс. экз./га	Год закладки опыта	Завершение этапа «порционного» роста		Начало перегруппировки вариантов по запасу		Последний учет		Источник
			Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup> /га	Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup> /га	Возраст, лет	Запас, м <sup>3</sup> /га	
Лебяжинский лесхоз (пос. Акку) Павлодарской области, Казахстан. 51°20' с.ш., 77°52' в.д. (степь)									
1	3,60		Не установлен	-	Не достигнут	-	69	259,4	В.Е. Смирнов (1966) и данные авторов
2	10,0	1935	новлен	-	нут	-	73	309,4	
3	20,0			-		-	73	424,5	
Ключевской лесхоз Алтайского края. 52°00' с.ш., 79°00' в.д. (степь)									
1	4,00			50,5/2,0*				256/10,2*	К.Ж. Аскаров (1974) и данные авторов
2	10,0	1948-1949	21	65,3/2,6*	Не установлен	-	56	210/8,4*	
3	20,0			69,3/2,8*		-		199/8,0*	
4	40,0			69,4/2,8*		-		194/7,8*	
Большемуртинский лесхоз Красноярского края. 57°00' с.ш., 93°00' в.д. (южная тайга)									
1	0,75			12,2				12,2	Бузыкин и др., 2002
2	4,00	1982	19	69,5	Не достигнут	-	19	69,5	
3	12,0			98,1	нут	-		98,1	
4	32,0			170,1		-		170,1	
5	96,0			245,5		-		245,5	

\* Первая цифра - запас на 1 га суммарной поверхности площадок, вторая цифра – запас на 1 га площади всего участка, м<sup>3</sup>;

\*\* Данные предоставлены проф. А.А. Строчинским.

до 47 лет максимум запаса приходится на среднюю плотность посадки (4932 экз./ га), а в интервале от 57 до 80 лет – на низкую (2196 экз./ га) и достигает на момент последнего учета 294 м<sup>3</sup>/га. В течение всего учетного периода на этой площади во всех вариантах происходит увеличение запаса древесины. Смена прямопропорциональной зависимости запаса насаждений от начальной плотности на обратнопропорциональную происходит в возрастном диапазоне от 15 до 80 лет.

Пробная площадь «И» отличается от «Я» более низкими средними значениями запаса в одинаковом возрасте, но значительно более широким диапазоном плотности посадки, а также - возрастной динамикой запаса. Пропорциональная зависимость запаса от начальной плотности сохраняется в течение первых 29 лет, а в возрасте 39 лет начинается перегруппировка вариантов по запасу. По-видимому, вследствие снижения устойчивости перегушенных насаждений к снеговым и ветровым нагрузкам запасы древостоев минимальной и максимальной начальных плотностей к возрасту 60 лет выравниваются и составляют 79-88 м<sup>3</sup>/га, а максимальный запас в 60-летнем возрасте составил 131 м<sup>3</sup>/га в варианте с начальной плотностью 6 тыс. экз./ га. Таким образом, зависимость *запас – начальная плотность*, прямо пропорциональная на начальном этапе роста культур, к возрасту 60 лет трансформировалась в колоколообразную.

В условиях Прибалтики смена зависимости запаса насаждений от начальной плотности из прямо пропорциональной в обратно пропорциональную происходит в возрастном интервале от 18 до 70 лет: в латвийском эксперименте в возрасте культур 18 лет названная зависимость была пропорциональной, а в литовском к возрасту 70 лет она уже сменилась на обратно пропорциональную. Максимальный запас в 70-летнем возрасте составил 359 м<sup>3</sup>/га в варианте с начальной плотностью 5 тыс. экз./ га.

В латвийском, марийском и красноярском плотных опытах (соответственно зоны хвойно-широколиственных, широколиственных и южнотаежных лесов) прямо пропорциональная зависимость *запас – начальная плотность* сохранялась примерно до 20, а в павлодарском эксперименте в условиях степной зоны – до 70 лет. Максимальные запасы соответствовали наибольшей начальной плотности.

В воронежском (лесостепь) и бузулукском (степь) плотных экспериментах прямо пропорциональная зависимость *запас – начальная плотность* уже к 21-33-летнему возрасту сосны сменилась на колоколообразную. При этом наибольший запас (около 170 м<sup>3</sup>/га) дала посадка с плотностью 26-30 тыс. экз./ га, а при начальной плотности 40 тыс. экз./га к этому возрасту запас снижается до 131-135 м<sup>3</sup>/га вследствие низкой устойчивости культур к неблагоприятным погодным условиям (снег и ветер).

Наиболее последовательно и регулярно (каждые 5 лет) осуществлялся контроль за ростом и самоизреживанием разновозрастных культур в Боярской опытной станции на Украине. К моменту начала перегруппировки вариантов по запасу наибольшими показателями продуктивности (142-152 м<sup>3</sup>/га) характеризовались древостои наибольшей плотности (17,5-30,0 тыс. экз./ га), а к возрасту 50 лет при последнем учете оптимум (529-555 м<sup>3</sup>/га) сместился на наиболее низкие плотности посадки (2,5-7,5 тыс. экз./ га), что и было отмечено Ю.Н. Савичем с соавторами (1978). Тем не менее, близкое значение запаса (501 м<sup>3</sup>/га) дал также вариант загущенной посадки (24,5 тыс. экз./ га). Таким образом, в боярском эксперименте варианты минимальной и максимальной начальных плотностей имеют близкие значения текущих плотностей последних четырех учетов (в возрастах 35, 40, 45 и 50 лет), но совершенно разные запасы стволовой древесины, о чем уже упоминалось выше (Усольцев, 1994, 2003).

В опытах с разной плотностью посадки ТСХА, Боярской ЛОС, ЛитНИИЛХ, Воронежского ЛТИ, в Боровом опытном лесничестве, Ключевском лесхозе последние перемены показали снижение запасов древесины в вариантах наибольшей начальной плотности по сравнению с вариантами меньшей плотности. Это происходит вследствие снижения устойчивости загущенных культур к определенному возрасту и вывала деревьев под

действием снеговых и ветровых нагрузок. Результаты исследований А.И. Юодвалькиса с соавт. (1985) показали, что сосновые насаждения становятся неустойчивыми к снеговому и другим неблагоприятным факторам при отношении диаметра ствола (см) к его высоте (м) менее 0,7-0,8.

Последние учеты красноярского и воронежского экспериментов проведены на этапах соответственно «пропорционального» роста и спустя 3 и 6 лет после него, и какие-либо выводы об оптимальной густоте здесь делать рано. Тем более, что с возрастом происходит смещение максимального запаса культур в направлении более низкой начальной густоты (до определенного предела).

Густотные эксперименты с культурами сосны в ленточных борах Прииртышья, заложенные В.Е. Смирновым (1966) и Л.Н. Грибановым (1960) соответственно в Лебяжинском (1935 г.) и Ключевском (1948 г.) лесхозах, являются уникальными. Во-первых, это наиболее длительные эксперименты, заложенные в степной зоне, и, во-вторых, они дают возможность сравнительного анализа результатов в экспериментах с групповым и регулярным размещением высаженных растений.

Расстояние между опытными участками Лебяжинского и Ключевского лесхозов составляет 70-80 км, и они характеризуются одними и теми же климатическими и лесорастительными условиями: среднегодовая температура воздуха составляет +2,7°C; максимальная +39,1°C; минимальная – 43,4°C. Среднее количество осадков в год – 350 мм. Культуры были заложены в типе леса сухой бор по среднебугристому рельефу, наиболее распространенному в средней части ленточных боров, на сплошной гари после пожаров, произошедших в 1907 г. в Лебяжинском и в 1939 г. – в Ключевском лесхозах. Посадка произведена 2-летними сеянцами, выращенными в местных питомниках.

На опытном участке Лебяжинского лесхоза почва подготовлена под посадку культур в августе 1934 г. сплошной ранней зяблевой пахотой с боронованием ранней весной 1935 г. После боронования конным однолемешным плугом нарезаны борозды глубиной 10—12 см. Расстояние между бороздами соответствовало ширине междурядий в культурах, которая составила на пробных площадях №№ 1, 2 и 3 соответственно 1, 2 и 4 м, а расстояние между саженцами в ряду – соответственно 0,5; 0,5 и 0,7 м (Смирнов, 1966). При таком регулярном размещении деревьев на площади участка густота составила на пробных площадях №№ 1, 2 и 3 соответственно 20,0; 10,0 и 3,6 тыс. экз./ га (табл. 2).

Таблица 2

Таксационная характеристика культур сосны различной густоты, заложенных в 1935 г. В.Е. Смирновым (1966) в Лебяжинском лесхозе Павлодарской области, в возрасте от 69 до 73 лет

№ пробной площади	Возраст, лет	Густота, тыс. экз./ га		Средние		Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Полнота	Класс бонитета	Запас, м <sup>3</sup> /га	
		начальная	текущая	диаметр, см	высота, м				живых деревьев	отмерших деревьев
1	73	20,0	5,343	11,8	15,3	58,5	1,7	IV	424,5	40,8
2	73	10,0	3,452	12,1	15,4	39,9	1,2	IV	309,4	8,9
3	69	3,6	1,371	17,2	16,8	31,9	0,9	III	259,4	2,4

На опытном участке Ключевского лесхоза подготовка почвы проведена полосной вспашкой на глубину 25-30 см (Аскарлов, 1974). Культуры заложены в четырех вариантах густоты площадками (табл. 3). Инструментальная таксация пробных площадей

проведена в 1971 г. К.Ж. Аскарковым (1974) и в 2006 г. А.А. Маленко. Запасы древесины (табл. 4) рассчитаны по объемным таблицам А.А. Макаренко и А.А. Гурского для ленточных боров Прииртышья (Справочник..., 1980), полнота – по стандартной таблице ЦНИИЛХ. Несмотря на то, что было упущено время и допущен большой временной разрыв между двумя учетами (35 лет), эксперимент необычен тем, что количество площадок в каждом из четырех вариантов начальной густоты было достаточно большим, что дает возможность в будущем проследить их рост до возраста спелости (см. табл. 3).

Таблица 3

Характеристика густотного эксперимента, заложенного в 1948 г. Л.Н. Грибановым в Ключевском лесхозе Алтайского края на площади 7 га по материалам К.Ж. Аскарова (1974)

№ варианта	Размер площадок	Число площадок		Число деревьев		
		на участке	на 1 га	на 1 м <sup>2</sup> площадки	на 1 га суммарной поверхности площадок	на 1 га площади участка
I	1×2 м	100	200	100	40000	1600
II	1×2 м	90	200	50	20000	800
III	1×2 м	96	200	25	10000	400
IV	1×2 м	126	200	10	4000	160

Таблица 4

Таксационная характеристика древостоев сосны в возрасте 21 и 56 лет по вариантам посадки. Густотный эксперимент 1948 г. в Ключевском лесхозе

Таксационные показатели	Посадка местами по вариантам			
	I	II	III	IV
Начальная густота, экз./ га	40000	20000	10000	4000
Данные перечета в возрасте 21 года (Аскар, 1974)				
Густота, экз./ га	8440	6560	4080	<b>1188</b>
Сохранность, %	21,2	32,8	40,8	29,7
Средняя высота, м	5,1	5,1	5,9	6,4
Средний диаметр, см	5,4	6,0	7,4	10,9
Класс бонитета	III	III	III	III
Площадь сечений, м <sup>2</sup> /га	19,1	18,4	17,5	11,1
Полнота	0,93	0,90	0,81	0,50
Запас, м <sup>3</sup> /га	69,4	69,3	65,3	40,1
Данные перечета в возрасте 56 лет				
Густота, экз./ га <sup>1</sup>	4270	3733	2883	<b>1445</b>
Сохранность, %	10,7	18,7	28,8	36,1
Средняя высота, м	11,4	12,4	13,4	17,0
Средний диаметр, см	9,1	9,8	11,2	16,7
Класс бонитета	IV	IV	III	II
Площадь сечений, м <sup>2</sup> /га	27,85	27,94	28,40	31,50
Полнота	0,96	0,94	0,91	0,89
Запас, м <sup>3</sup> /га	194	199	210	256

Обращает на себя внимание, казалось бы, парадоксальное явление: если в вариантах I- III за период между двумя учетами число деревьев уменьшилось в результате самоизреживания, то в варианте посадки IV возросло с 1188 до 1445 экз./ га (отмечены в табл. 4 жирным шрифтом). Этот феномен требует комментария. К.Ж. Аскар (1974) характеризует вариант посадки IV (с наименьшей густотой) как наименее устойчивый к



экстремальным условиям сухой степи: он оказался на грани гибели, был наиболее заселен подкорным клопом и имел много суховершинных, но живых деревьев, которые им не были включены в учет. За прошедший 35-летний период к моменту второго учета многие суховершинные деревья восстановили вершину от боковой ветви, и произошло увеличение числа жизнеспособных деревьев на 1 га. Причем стволы восстановившихся деревьев за 35 лет практически вернули себе исходную форму.

Подобное восстановление вершин частично усохших сосен от живых боковых ветвей нижней части кроны в условиях степи явление нередкое. Н.П. Чардымов (1949) приводит пример, когда культуры, посаженные в Бузулукском бору при густоте 10 тыс. экз./ га и уровне грунтовых вод около 7 м, в возрасте 24 лет имели вершины деревьев полностью отмершие и были зачислены в категорию усыхающих и практически безнадежных. Но спустя 20 лет оказалось, что они полностью оправились и их будущее уже не вызывало сомнений.

В.Г. Нестеров (1949) пришел к выводу, что «усыхание вершин у сосен и образование новых вершин из боковых ветвей типичны для Бузулукского бора» (с. 67), при этом процессы усыхания и восстановления вершин чередуются во времени (рис. 1). Аналогичный феномен наблюдался нами в Аман-Карагайском бору в Тургайском прогибе, когда после засух в конце 1970-х гг. суховершинные и по своему физиологическому состоянию казалось бы обреченные на гибель в возрасте 10-15 лет культуры оказались в конце 1990-х гг. в хорошем состоянии и характеризовались устойчивым ростом с вновь сформированной вершиной.

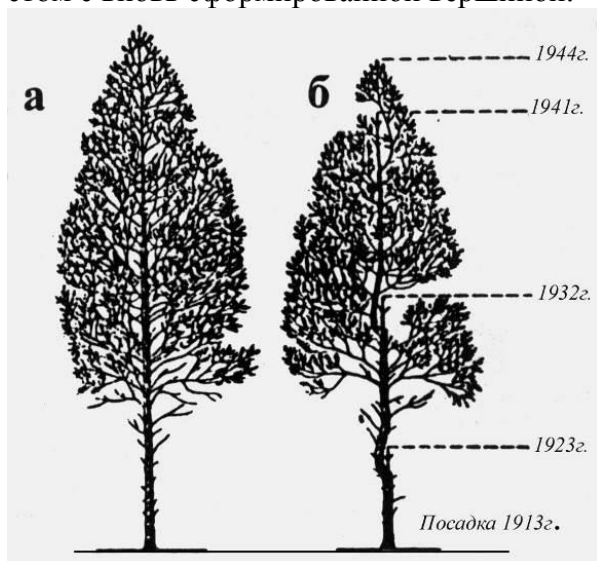


Рис. 1. Архитектоника сосны в нормальных условиях роста (а) и трижды «возродившейся» после засух в условиях дефицита увлажнения (б) в Бузулукском бору, квартал № 137 (Нестеров, 1949). Цифрами обозначены календарные годы.

Анализируя упомянутый выше бузулукский густотный эксперимент, Е.Д. Годнев (1957) приводит следующие данные. Спустя 15 лет после посадки культуры начали суховершинить, причем степень деградации была обратно пропорциональна начальной густоте, и в возрасте 20 лет число здоровых деревьев при густотах 4,4;

13,2; 19,8 и 26,3 тыс. экз./ га составляло соответственно 23, 79, 83 и 97 %. В последующее 10-летие состояние культур улучшалось, у многих ранее суховершинных сосен восстановились вершины, и в возрасте 30 лет даже в наиболее редких посадках (начальная густота 4,4 тыс. экз./ га) число здоровых деревьев составило 59%, а в более густых (от 8,8 до 26,3 тыс. экз./ га) 90-93%, т.е. расстроеными оставались лишь самые редкие посадки. Л.Е. Годнев и И.М. Невзоров (1970) констатируют обратную связь степени усыхания с сомкнутостью крон в культурах сосны всех возрастов в Бузулукском бору и связывают это явление с более высокой устойчивостью сосны при раннем смыкании крон.

Таким образом, варианты густой посадки лучше противостоят экстремальным условиям сухой степи, что подтверждает выводы большинства исследователей, причем некоторые связывают это с феноменом срастания корней в биогруппах (Юновидов, 1935; Годнев, 1955; Колтунова. 2013). Но в этом случае густые смолоду варианты дают к возрасту 56 лет меньший запас, а при редкой посадке при засухах могут оказаться на грани гибели. В случае выживания редкая посадка по сравнению с густой дает бóльший

конечный запас, что и произошло в алтайском эксперименте, по крайней мере, к возрасту 56 лет. Это подтверждает выводы Н.П. Георгиевского (1957).

Тем самым снимается приведенное выше противоречие о соотношении оптимальных густот культур по устойчивости и продуктивности. А.П. Рябоконт (1979) и С.А. Дыренков (1979) свои выводы строили по сосне и ели в условиях географического оптимума в их ареалах, где, по-видимому, нет расхождений в оптимумах густоты по устойчивости и продуктивности. Напротив, в условиях сухой степи эти два оптимума расходятся (Годнев, 1957; Сидоров, 1970; Аскарков, 1974), и начальная густота, оптимальная с точки зрения устойчивости, не является таковой по показателю продуктивности.

### Как оценивать продуктивность культур местами?

Методика определения продуктивности древостоя как совокупности биогрупп, выделяемых на планах насаждений естественного возрастного ряда, на основе показателей их текущей густоты в естественных древостоях более или менее разработана (Усольцев, 1985а,б; 1987). При этом продуктивность биогрупп конвертируется в показатель продуктивности древостоя по соотношению площадей биогрупп и окон между ними. Названное конвертирование основано на предположении, что площадь окон полностью оккупирована корневыми системами деревьев, произрастающих в биогруппах.

Культуры местами актуальны в экстремальных условиях роста, в частности, на южном пределе лесного ареала, в аридных условиях степной зоны, где критерий устойчивости превалирует над критерием продуктивности. Они дают возможность загущенным совокупностям деревьев в площадках лучше противостоять засухам (Науменко, Смогунова, 1975) и одновременно использовать влагу и элементы питания прилегающей к площадкам территории. К культурам местами упомянутый прием конвертирования неприменим, поскольку какая-то часть свободного от площадок пространства корнями не занята, но, с другой стороны, корни выходят за пределы площадок уже в первые годы роста.

Поэтому вопрос оценки продуктивности культур местами сводится к вопросу: как определять густоту таких культур? Если в расчет берется только территория площадок, и их суммарная площадь приводится к 1 га, то фактическая густота завышается на величину, представляющую отношение площади, занятой корнями деревьев за пределами площадок, ко всей площади, занимаемой корнями этих деревьев. Если в расчет включается суммарная территория площадок и пространство между ними, то густота занижается на величину, представленную отношением площади, свободной от корней деревьев, ко всей территории участка. Эта коллизия, по-видимому, будет сохраняться постольку, поскольку мы не располагаем методом неразрушающего контроля за экспансией корневых систем за пределы площадок.

Вопрос оценки продуктивности культур местами осложняется не только неопределенностью с их густотой. В лесоводственной литературе имеются данные о влиянии на продуктивность групповых культур: (а) густоты посадки на площадке (Годнев, 1955; Сидоров, 1970; Аскарков, 1974), (б) размера площадки (Фильрозе, 1963; Титов, 1978) и (в) их количества на 1 га (Фильрозе, 1963), но нет экспериментальных данных о совместном влиянии названных трех ортогональных факторов на продуктивность групповых культур. Е.М. Фильрозе (1963), по-видимому, была первой исследовательницей этой проблемы, объединившей названные три фактора в единый комплекс.

Однако разногустотных культур местами, заложенных по плану трехфакторного эксперимента в понимании В.В. Налимова (1971) мы до сих пор не имеем, и навряд ли будем иметь в ближайшем будущем, поскольку для реализации трехфакторного эксперимента необходима закладка нескольких вариантов по каждому из факторов при неизменных вариантах влияния остальных двух факторов. Это требует, кроме огром-

ных трудозатрат (Агаев, 1972), наличия обширной лесопригодной площади, которая обеспечивала бы постоянство условий местопроизрастания. Например, для дерново-боровых песчаных почв в степной зоне, таким условием является постоянство уровня грунтовых вод на всей площади эксперимента, что в реальных условиях обеспечить практически невозможно.

Тем не менее, предпринята попытка обойти это препятствие и оптимизировать густоту культур, введя понятие функции экологической полезности (Бузыкин и др., 2002). Предполагая, что эффекты конкуренции за ресурсы среды, а также кооперативные эффекты сохранения влаги (Протопопов, 1975) и защиты от ветровых нагрузок (Белов, 1974), независимы друг от друга (ортогональны), А.И. Бузыкин с соавт. (2002) вводят для каждого из перечисленных эффектов функцию парциальной экологической полезности (ФПЭП), объединяют все ФПЭП в виде суммарной функции экологической полезности и по максимальной величине последней определяют оптимальную густоту древостоя. Правда, при этом остается нерешенной проблема идентификации параметров ФПЭП на достаточно обширном экспериментальном материале.

Применительно к групповым посадкам авторы используют совокупность трех упомянутых выше управляющих параметров – площадь био группы, ее густоту и число био групп на 1 га. Используя две рекурсивные зависимости: (а) числа деревьев в био группе от числа био групп на 1 га и (2) запаса древесины на 1 га от числа деревьев в био группе, авторы выводят суммарную функцию экологической полезности для групповых посадок (Бузыкин и др., 2002).

Неопределенность с идентификацией параметров функций усугубляется в данном случае тем, что модель предполагает отсутствие ограничений в ресурсах среды, а это противоречит понятию конкуренции (Мазер, 1964), лежащей в основе самоизреживания био групп. Остается согласиться с А.И. Бузыкиным с соавт. (2002), что «для решения задачи оптимизации густоты насаждений с учетом дополнительных ограничений на объем доступных деревьям ресурсов необходимо использовать более сложные модели...» (с. 116).

### Выводы

1. Опытные посадки сосны обыкновенной разной начальной густоты заложены в течение столетия в разных природных зонах и находятся в пределах ареала сосны обыкновенной на довольно узкой полосе между  $50^0$  и  $57^0$  с.ш., вытянутой с запада на восток между  $24^0$  и  $93^0$  в.д.

2. В большинстве опытных посадок прямо пропорциональная зависимость *запас – начальная густота* сохранялась примерно до 20 лет в зонах хвойно-широколиственных, широколиственных и южнотаежных лесов, и до 70 лет в павлодарском эксперименте в условиях степной зоны. Максимальные запасы соответствовали наибольшим начальным густотам.

5. В опытах с разной густотой посадки последние перечеты показали снижение запасов древесины в вариантах наибольшей начальной густоты (20-30 тыс. экз./ га) по сравнению с вариантами меньшей густоты в зонах хвойно-широколиственных и широколиственных лесов (опытные посадки ТСХА, Боярской ЛОС и ЛитНИИЛХ). В продукционном аспекте густота посадки более 20 тыс. экз./ га в этих условиях не имеет смысла. Снижение продуктивности при экстремально густых посадках происходит вследствие их низкой устойчивости, что ведет к вывалу деревьев под действием снеговых и ветровых нагрузок.

6. Подобное занижение имеет место также в условиях лесостепи и степи (посадки Воронежского ЛТИ, Борового опытного лесничества и Ключевского лесхоза) при начальных густотах около 40 тыс. экз./га, но в этих случаях культуры характеризуются

наибольшей устойчивостью к засухам и более предпочтительны по сравнению с редкими, поскольку подобная густота является гарантией их выживания.

7. В основном ареале произрастания сосны нет расхождений в оптимумах густоты по устойчивости и продуктивности, а в маргинальных условиях степей эти два оптимума расходятся, и начальная густота, оптимальная с точки зрения устойчивости, не является таковой по показателю продуктивности.

8. Остается нерешенной проблема определения густоты и продуктивности групповых культур, связанная с отсутствием метода неразрушающего контроля за экспансией корневых систем за пределы площадок. В результате фактическая густота и продуктивность либо завышается, если в расчет берется только суммарная территория площадок, либо занижается, если в расчет включается суммарная территория площадок и пространство между ними.

9. Для оптимизации густоты посадки культур представляет интерес метод использования функции парциальной экологической полезности (Бузыкин и др., 2002), хотя перспективны более сложные модели. Для их идентификации необходима исходная база разнототных экспериментов, которая в настоящее время отсутствует, и необходимы дополнительные опытные посадки в разных условиях произрастания.

### Список использованной литературы

*Агаев М.Г.* Реагирование однолетних растений на повышение плотности популяции // Ботанический журн. 1972. Т. 57. № 5. С. 434-445.

*Аскарлов К.Ж.* Рост и продуктивность культур сосны разной густоты местами в ленточных борах Прииртышья: Автореф. дис....канд. с.-х. наук: 06.03.03. Алма-Ата: КазСХИ, 1974. 23 с.

*Белов С.В.* Ветер – главный фактор, определяющий форму стволов и их устойчивость // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Вып. 3. Л.: ЛЛТА, 1974. С. 3-24.

*Бузыкин А.И., Пишеничникова Л.С., Суховольский В.Г.* Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 152 с.

*Георгиевский Н.П.* Некоторые соображения о выращивании лесных культур // Лесное хоз-во. 1957. № 6. С. 40-43.

*Годнев Е.Д.* Результаты квадратно-гнездовых культур сосны в Александровском лесхозе Владимирской области // Лесное хоз-во. 1955. № 12. С. 45-52.

*Годнев Е.Д.* Густота культур сосны как фактор их устойчивости // Лесное хоз-во. 1957. № 4. С. 30-35.

*Годнев Л.Е., Невзоров И.М.* Влияние раннего смыкания крон на устойчивость сосны в Бузулукском бору // Лесное хоз-во. 1970. № 11. С. 35.

*Грибанов Л.Н.* Степные боры Алтайского края и Казахстана. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 156 с.

*Демаков Ю.П., Калинин К.К., Шургин А.И., Иванов А.В., Закамский В.А., Матвеев В.А., Бекмансуров М.В., Богданов Г.А.* Экологический подход к оптимизации исходной густоты культур сосны // Экология и леса Поволжья. Вып. 2. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. С. 277-299.

*Дыренков С.А.* О продуктивности и устойчивости естественных древостоев (ценопопуляций) ели в таежной зоне // Формирование эталонных насаждений. Ч. 2. Каунас-Гирионис, 1979. С. 47-49.

Итоги экспериментальных работ в лесной опытной даче ТСХА за 1862-1962 годы. М.: Московская с.-х. академия, 1964. 519 с.

*Колпиков О.М.* Особенности роста сосновых молодняков, произрастающих группами различной густоты // ИВУЗ. Лесной журн. 1960. № 6. С. 10-14.



- Колтунова А.И.* О формировании горизонтальной структуры и срастании корневых систем в древостоях сосны // Эко-Потенциал. 2013. № 3-4. С. 136-142.
- Мазер К.* Конкуренция и сотрудничество // Механизмы биологической конкуренции (перевод с англ.). М.: Мир, 1964. С. 332-354.
- Налимов В.В.* Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 208 с.
- Науменко Е.Н., Смогунова Т.С.* Особенности культур сосны, созданных посадкой семян пучками // ИВУЗ. Лесной журн. 1975. № 1. С. 15-19.
- Нестеров В.Г.* Основные черты процесса усыхания сосны // Бузулукский бор. Т. 1: Общий очерк и лесные культуры. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. С. 65-78.
- Овсянкин В.Н., Савич Ю.Н.* Густота культур сосны и ее биолого-лесоводственное значение // Тр. Ин-та лесохозяйственных проблем. Вып. XI. Рига: Изд-во АН ЛатвССР, 1956. С. 128-146.
- Пименов А.В., Ефремов С.П.* Динамика развития сосны обыкновенной в гнездовых посевах // Лесоведение. 2009. № 2. С. 10-20.
- Протопопов В.В.* Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука, 1975. 328 с.
- Рубцов В.И., Новосельцева А.И., Попов В.К., Рубцов В.В.* Биологическая продуктивность сосны в лесостепной зоне. М.: Наука, 1976. 223 с.
- Рябокоть А.П.* Определение биологического оптимума густоты сосновых древостоев в условиях свежей субори // Лесоведение. 1979. № 3. С. 16-23.
- Савич Ю.Н., Овсянкин В.Н., Полубояринов О.И.* О росте, продуктивности и устойчивости сосновых культур, созданных при различной густоте посадки // Научные тр. УкрСХА. Вып. 213. Киев, 1978. С. 27-38.
- Сидоров В.А.* Густые культуры сосны местами в Северном Казахстане // Тр. КазНИИЛХ. Т. VII. 1970. С. 211-223.
- Смирнов В.Е.* Полувековой опыт лесовосстановления в ленточных борах Казахстана и Алтая. Алма-Ата: КазНИИЛХ, 1966. 130 с.
- Смирнов Н.Т.* Состояние культур сосны в зависимости от размещения растений и густоты посадки // ИВУЗ. Лесной журн. 1959. № 4. С. 53-59.
- Собачкин Д.С., Бенькова В.Е., Собачкин Р.С., Бузыкин А.И.* Влияние густоты на таксационные показатели сосновых молодняков естественного и искусственного происхождения // Лесоведение. 2009. № 2. С. 3-9.
- Справочник по таксации лесов Казахстана. Алма-Ата: Кайнар, 1980. 313 с.
- Титов Ю.В.* Эффект группы у растений. Л.: Наука, 1978. 151 с.
- Усольцев В.А.* Оценка показателей продуктивности в биогруппах разной густоты // Лесоведение. 1985а. № 2. С. 62-72.
- Усольцев В.А.* Элементы динамики горизонтальной структуры березняков послевого и семенного происхождения // Лесоведение. 1985б. № 6. С. 19-29.
- Усольцев В.А.* О соотношении продуктивности древостоя и составляющих его биогрупп // Лесные экосистемы в условиях континентального климата. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1987. С. 168-173.
- Усольцев В.А.* Расчленение эдафической и ценотической составляющих продуктивности древостоев по данным густотного эксперимента // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 17. Екатеринбург: УГЛТА, 1994. С. 77-85.
- Усольцев В.А.* Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 406 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3303>).
- Фильрозе Е.М.* Особенности роста и развития сосны в культурах рядового и группового размещения в условиях Московской области: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. Свердловск: УЛТИ, 1963. 26 с.
- Чардымов Н.П.* Чистые сосновые культуры на дюнных песках Бузулукского бора // Бузулукский бор. Т. 1. М.: Гослесбумиздат, 1949. С. 143-212.

*Юновидов А.П.* Растущие сосновые пни // Лесн. хоз-во и лесоэксплуатация. 1935. № 12. С. 24.

*Юодвалькис А.И., Ионикас Ю.В., Баркаускас А.П.* Первоначальная густота насаждений как фактор их продуктивности и устойчивости // Стабильность и продуктивность лесных экосистем. Тез. докл. Тарту: Тартуский гос. ун-т, 1985. С. 165-166.

*Юодвалькис А.И., Озолинчюс Р.В.* Лесоводственно-биологические аспекты оптимизации первоначальной густоты сосновых насаждений // Лесное хоз-во. 1987. № 9. С. 20-22.

*Ando T.* Growth analysis on the natural stands of japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.). II. Analysis of stand density and growth // Bull. Govern. Forest Exper. Station. 1962. Vol. 147. P. 45-77.

*Hozumi K.* Ecological and mathematical considerations on self-thinning in even-aged pure stands. I. Mean plant weight-density trajectory during the course of self-thinning // Bot. Mag. Tokyo. 1977. Vol. 90. P. 165-179.

*Kuzmichev V.V., Pshenichnikova L.S., Tretyakova V.A.* Productivity of six tree species plantations for three decades in the Siberian afforestation experiment // Tree species effects on soils: Implications for global change. (Binkley D. and Menyailo O., eds.). Springer, 2005. P. 269-279.

**Рецензент статьи:** ведущий научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН, доктор биологических наук, профессор Е.В. Колтунов.